

**LE FLUOR ÉDAPHIQUE N'A PAS D'INFLUENCE NOTABLE
SUR LA TENEUR EN FLUOR D'UNE GRAMINÉE
FOURRAGERE (*LOLIUM PERENNE*).
RÉSULTATS D'UN ESSAI EFFECTUÉ EN VALAIS**

François Contat¹, F. X. Stadelmann², W. Stauffer³, L. Genoud⁴,
J. Zadelek⁵

ZUSAMMENFASSUNG

Bodenbürtiges Fluor hat keinen wesentlichen Einfluss auf den Fluorgehalt eines Futtergrases (*Lolium perenne*). Ergebnisse einer Untersuchung im Wallis

Die Wirkung des löslichen, bodenbürtigen Fluors auf den Futtergehalt von Italienischem Raigras wurde in einem zweijährigen Versuch an zwei ca. 40 km voneinander entfernten Standorten im Wallis, Steg und Châteauneuf, untersucht. In Steg wurde Boden von vier Standorten aus 200, 400, 800, und 1600 m Distanz zur Aluminiumhütte entnommen, nach Châteauneuf transportiert und gegen Standortsboden (Referenz) ausgetauscht. In Châteauneuf befanden sich die vier Standortsböden aus Steg, die Mischungen aus Boden von Châteauneuf mit den verschiedenen Böden aus Steg und der Boden aus Châteauneuf. An den vier Standorten von Steg wurden Parzellen mit Boden aus Châteauneuf, mit Standortsboden, mit einer Mischung aus Boden von Châteauneuf und Standortsboden, sowie mit unbearbeitetem Standortsboden eingerichtet. Der Fluorgehalt der Luft wurde mittels Hardingeräten gemessen.

Die Resultate zeigen, dass in Steg die durchschnittlich gemessene F-Kontamination von Raigras über dem Toleranzwert für Futtergras lag (1991: 82 ppm, entspricht 82 mg F pro Kilo Trockensubstanz (TS); 1992: 77 ppm). Im Jahre 1991 war der F-Gehalt in Steg 3,6 höher als in Châteauneuf (23 ppm F) und 4,3 mal höher im Jahre 1992 (18 ppm F). Zwischen 1991 und 1992 hat die Fluor-Kontamination von Raigras um 6% in Steg und um 21% in Châteauneuf abgenommen. Die Schliessung der Werke von Martigny und Chippis sowie die Produktionsreduktion in Steg könnten diese Abnahme erklären. Die Bedeutung des anthropogen emittierten Fluors wurde aus den

¹ Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement, (FAC), Ch-3097 Liebefeld-Berne

² Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement, (FAC), Ch-3097 Liebefeld-Berne

³ Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement, (FAC), Ch-3097 Liebefeld-Berne

⁴ Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, 1950 Sion

⁵ Agricultural and Teachers University 08-110 Siedlce, Poland

Analyse von Bodenprofilen der Standorte Steg und Châteauneuf ersichtlich. Die Fluorkontamination von Raigras wurde aber durch die Herkunft des Bodens und damit durch den Fluorgehalt des Bodens nicht beeinflusst. Andererseits nahm der Fluorgehalt mit abnehmender Distanz zur Aluminiumhütte signifikant zu.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass unter den Versuchsbedingungen das bodenbürtige Fluor keinen signifikanten Einfluss auf den Fluorgehalt von Raigras hat und folglich die gemessene Fluorkontamination des Raigrases hauptsächlich durch das luftbürtige Fluor bestimmt wird.

ABSTRACT

Soilborne fluoride has no notable effect on the fluoride content of a fodder grass (*Lolium perenne*) - Results from a study in the Valais.

The effect of water soluble, soilborne fluoride on the fluoride content of perennial raygrass was investigated in a two-year study at the two sites in the Valais, Steg and Châteauneuf, 40 km apart. Soil from four different sites, 200, 400, 800 or 1600 m from the aluminum smelter at Steg, was removed and transported to Châteauneuf to replace the local soil (reference). Additional plots were established with local soil or with a mixtures of local soil and each of the four Steg sites. At the four sites at Steg, plots were established with either local soil, soil imported from Châteauneuf, or with a mixture of local soil and soil from Châteauneuf. Fluoride levels in the air were monitored with the aid of 'Harding' apparatus.

The results revealed that the fluoride contamination of raygrass was higher than the acceptable level for fodder crops (1991: 82 ppm, corresponding to 82 mg F per kilogram dry matter, d.m.; 1992: 77 ppm). In 1991 the fluoride content at Steg was 3.6 times the value at Châteauneuf (23 ppm), and 4.3 times higher in 1992 (18 ppm). As compared to 1991, the fluoride contamination in 1992 was lower by 6.2% at Steg and 21% at Châteauneuf. Closure of the smelters at Martigny and Chippis, and a reduction in the aluminum production at Steg may explain this decrease. The importance of anthropogenic fluoride emissions was revealed by the analysis of the fluoride distribution in soil profiles, but no relationship existed between the fluoride content of raygrass and the origin and the fluoride contamination of the soil. On the other hand, fluoride contamination of the grass increased significantly with decreasing distance from the smelter.

These results suggest that under the conditions of this investigation soilborne fluoride has no significant influence on the fluoride content of raygrass. Hence, fluoride contamination of raygrass mainly results from airborne fluoride pollution.

INTRODUCTION

Plusieurs travaux traitant de l'immission fluorée de la région de Steg (Haut-Valais) ont montré que, jusqu'en 1990, différents supports végétaux (feuilles d'abricotiers, fourrages, plantes-tests) subissaient une contamination fluorée moyenne à forte (CONTAT et ZUBER, 1977; ZUBER *et al.*, 1981). De plus, leur teneur en fluor avait plutôt tendance à augmenter (GUYER, 1989; CONTAT *et al.*, 1993). Une incertitude subsis-

tait toutefois quant à l'importance relative du fluor édaphique par rapport au fluor atmosphérique.

A la demande du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, la Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (FAC) a entrepris un essai à Steg et à Châteauneuf (FAC, 1993). L'objectif principal de cet essai était d'étudier l'importance du fluor édaphique relativement à la teneur en fluor de l'air sur la teneur en fluor d'une graminée fourragère. L'importance et l'étendue de cette contamination devaient aussi être suivies.

DESCRIPTION DES ESSAIS ET MÉTHODES D'ANALYSE

Mise en place de l'essai

La figure 1 présente la situation du site témoin de Châteauneuf par rapport aux usines d'aluminium de Martigny, de Chippis et de Steg, ainsi que l'emplacement des placettes de Steg.

Le témoin (Châteauneuf) se situe à 20 km de Martigny et de Chippis et à 38,5 km de Steg. Les deux usines d'aluminium de Martigny et de Chippis ont arrêté leur production au printemps 1992. Cette même année, l'usine d'aluminium de Steg émettait environ 16 t d'acide fluorhydrique (HF)/an.

A Steg, les placettes composées de 4 parcelles étaient placées à 200, 400, 800, et 1600 m à l'est de l'usine d'aluminium. La première parcelle comportait le sol échangé avec Châteauneuf (20 cm de profondeur), la deuxième le mélange du sol de Châteauneuf et du sol respectif à chaque placette de Steg, la troisième du sol du lieu retourné, travaillé sur 20 cm de profondeur, et la quatrième du sol du lieu avec un travail du sol superficiel. Le site témoin comprenait les sols des 4 placettes de Steg, leur mélange avec le sol de Châteauneuf et le sol de Châteauneuf. Les parcelles ont toutes reçu une fumure identique (35 kg P/ha, 204 kg K/ha, 26 kg Mg/ha et 40 kg N/ha). Elles ont été ensemencées avec du ray-grass italien (var. Lipo).

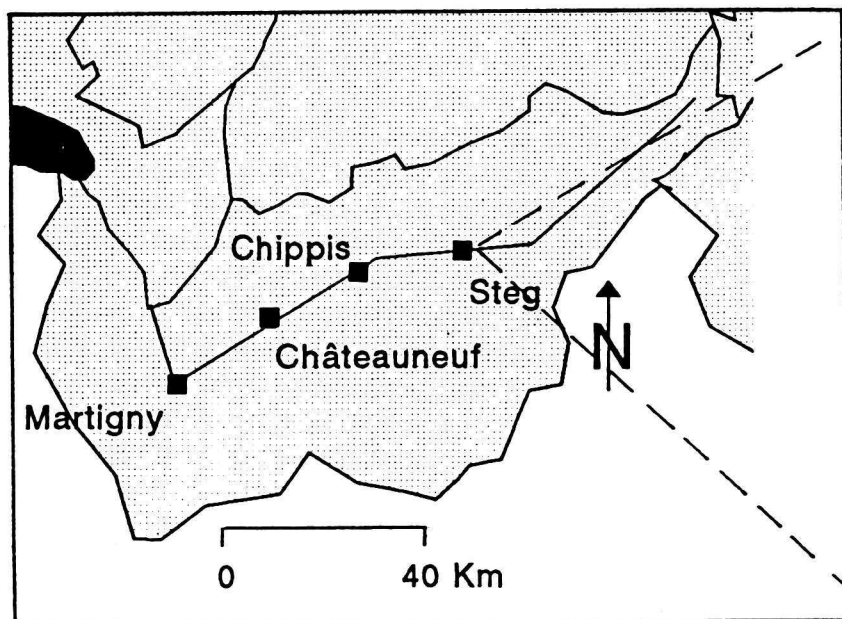


Fig. 1a. Situation géographique de l'essai «Steg-Châteauneuf».

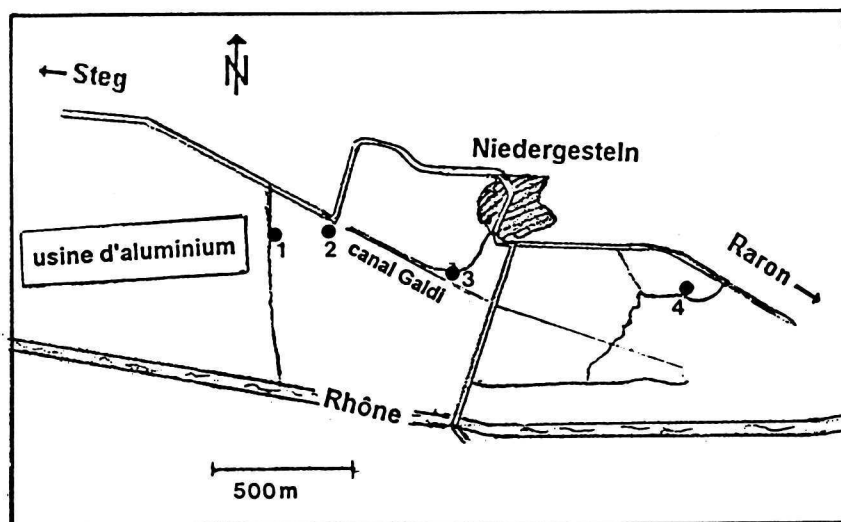


Fig. 1b. Emplacements des placettes (1, 2, 3 et 4) de Steg, en 1991 et 1992.

Ce dispositif était complété, pour le contrôle du fluor atmosphérique, par trois appareils «Harding» (appareil d'absorption statique, DESBAUMES et BOVAY, 1971) par placettes d'essai. Ces appareils étaient distants de 2 m l'un de l'autre et situés à 1,5 m du sol. La durée d'exposition de chaque série de filtres était de 14 jours (± 1 jour).

Dans chaque placette d'essai, un sondage du sol a été effectué (Wandbohrer \varnothing 4 cm) de 0 à 5 cm, de 5 à 20 cm, de 20 à 40 cm, de 40 à 60 cm et de 60 à 100 cm.

Les données météorologiques proviennent du réseau automatique d'observation (ANETZ) des stations de Viège pour les placettes d'essai de Steg et de Sion pour celle de Châteauneuf.

Un apport mensuel d'environ 90 l/m² par arrosage goutte à goutte a permis de compenser le manque d'eau durant la période de végétation.

Récoltes et méthodes d'analyse du fluor

Durant la période de végétation (mai à octobre), la récolte des échantillons d'herbage a lieu 4 fois en 1991 et 5 fois en 1992.

Ces échantillons ont subi, après séchage et mouture, une fusion alcaline (NaOH) avant d'être mis en solution. La teneur en fluor a été déterminée à l'aide d'une électrode spécifique pour l'ion fluorure. Cette méthode a également été appliquée à l'analyse du fluor total [$F_{\text{tot.}}$] des sols. Pour l'analyse du fluor soluble [$F_{\text{sol.}}$], la solution est obtenue à partir du barbotage de l'échantillon de sol dans de l'eau distillée.

En 1992, une séparation des parties minérales (particules de sol) de la partie organique des échantillons d'herbe a été effectuée par décantation dans du tétrachlorure de carbone. La relation entre les deux méthodes d'analyse, c'est-à-dire entre le fluor initial (selon la méthode de 1991) et la somme du fluor organique et du fluor des parties minérales, apparaît dans l'équation suivante: [F_{initial}] = -0,523 + 1,0021 [$F_{\text{part. minérale}} + \text{mat. org.}$] (N = 26; r = 0,998***).

Méthodes statistiques

La détermination du rendement et l'analyse chimique du ray-grass italien ont été réalisés à partir d'une surface de 1 m². La distribution du fluor ne suivant pas une courbe normale, les moyennes et les écarts ont été calculés à partir des valeurs logarithmiques.

Les différences de moyennes données par les appareils Harding et les teneurs en fluor des sols ont été testées selon le test t de Student-Fisher.

La répartition géographique du fluor atmosphérique a été déterminée par régression, la corrélation matérialisant la liaison entre le fluor mesuré et la distance de la source émettrice.

A Steg, la comparaison des placettes entre elles n'est à priori pas possible, les sols n'ayant pas les mêmes teneurs en fluor. Toutefois, à l'intérieur des placettes, le test de Friedman a permis de caractériser, selon les sols, les différences des teneurs en fluor du ray-grass (DAGNÉLIE, 1975). Quoique présents dans les 4 placettes, les sols de Châteauneuf, par manque de répétitions, ne peuvent pas a priori être comparés entre eux.

RÉSULTATS

Météorologie

Durant les périodes de végétation de 1991 et de 1992 (début mars à fin octobre) les températures ont été similaires pour les deux stations de référence (tableau 1). Cependant, les températures moyennes de Sion (référence de Châteauneuf) étaient de 1 °C supérieures à celles de Viège (référence de Steg) et ceci pour les deux années. En 1991 et 1992, le bilan hydrique (BH = pluviométrie - évapotranspiration) est resté négatif de mars à octobre pour les deux stations.

A Viège, la fréquence des vents soufflant d'ouest en est a été de 40% en 1991 (100% = somme des fréquences des vents soufflant dans toutes les directions) et de 42% en 1992. Les vents d'est se sont montrés moins fréquents, soit 24% en 1991 et 28% en 1992.

Caractérisation agronomique des sols des deux essais

Le sol de Châteauneuf se classe dans les sols calcaro-limono-sableux (tableau 2). Les sols de Steg 1 sont sableux, ceux de Steg 2 limoneux fins, ceux de Steg3 et Steg4 sont limono-sableux. Les sols de Steg sont pauvres en calcaire. Tous les sols sont faiblement alcalins (pH: de 7,3 à 7,8). Les sols de Steg2 et de Châteauneuf sont moyennement pourvus en humus, les autres sols sont considérés comme pauvres en matière organique (<2% humus). Quant aux éléments nutritifs, le sol de Châteauneuf est bien pourvu en P_2O_5 et Mg, alors que ceux de Steg sont pauvres; la potasse (K_2O) est suffisante dans les sols de Steg1, 3 et 4; élevée dans les sols de Steg2 et Châteauneuf (WALTHER *et al.*, 1987).

	Température ventilée 2 m				Insolation		Rayon- nement 10 ⁶ J/m ²	Précipitations			ETP mm	BH mm
	Moyenne °C	Ecart* °C	Max. °C	Min. °C	h	%*		mm	%*	Max.		
										mm/jour		
Viège												
1991	13.6	1.1	26.6	0.7	1826	108	4395	373	108	51.0	727	-354
1992	13.7	1.2	26.5	1.7	1615	93	4155	461	130	36.0	566	-139
Sion												
1991	14.4	1.7	27.0	3.3	1814	109	4262	313	87	36.0	658	-345
1992	14.5	1.8	27.4	3.6	1558	94	4065	418	114	31.0	482	-104

ETP = évaporation + transpiration; BH = précipitation- ETP;

*différence à la moyenne de 30 ans

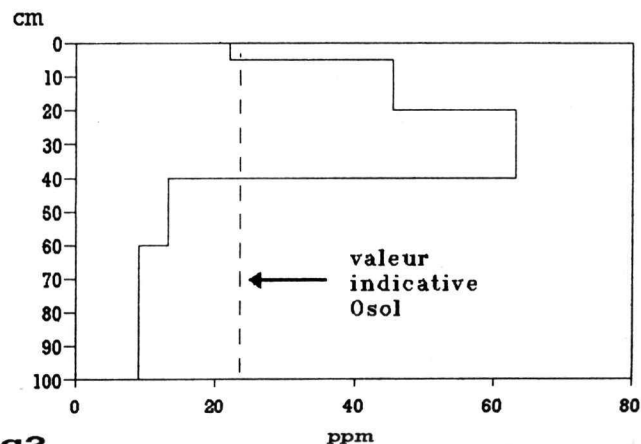
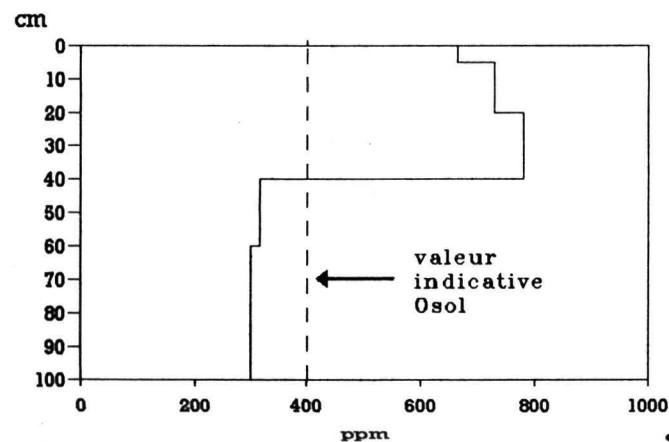
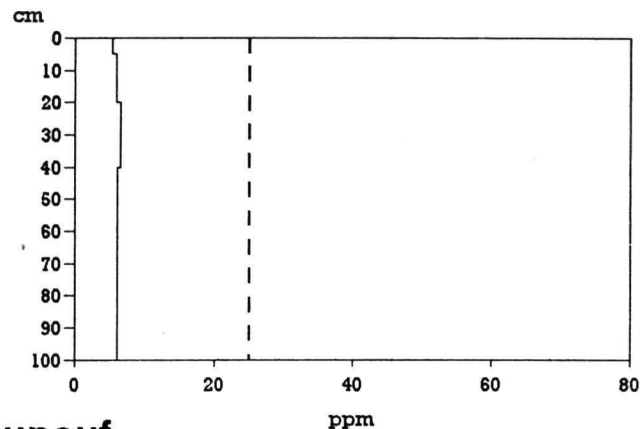
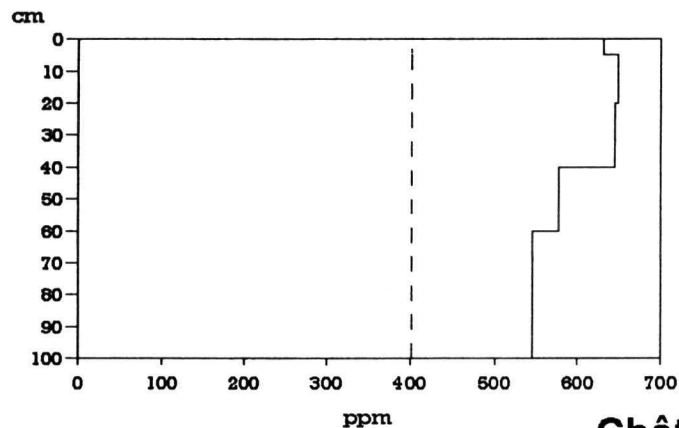
Tableau 1. Données climatiques des stations automatiques (ANETZ) de Viège et de Sion pour la période de mars à octobre 1991 et 1992.

soils	Fsol. ppm F	Ftot ppm F	pH	CaCO3 %	C. org. %	argile %	limon %	sable %	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g
Châteauneuf	2.9	582.3	7.4	33.0	3.7	9.1	48.3	42.7	48.1	12.5
Steg1	6.6	362.8	7.4	3.8	1.4	4.3	13.7	82.1	10.8	3.7
Steg2	30.9	721.0	7.3	2.5	3.7	9.5	70.4	20.0	6.3	9.5
Steg3	13.3	520.4	7.6	5.3	2.1	6.7	37.7	55.7	6.5	3.3
Steg4	22.1	527.8	7.7	10.4	1.5	4.0	36.3	59.2	12.6	6.9
Steg1xChât.	4.9	438.1	7.5	21.0	1.0	7.8	29.2	63.1	17.4	6.4
Steg2xChât.	15.5	670.3	7.4	18.0	3.2	7.3	66.9	25.8	11.2	8.6
Steg3xChât.	6.3	527.4	7.7	20.5	2.6	6.2	45.6	48.3	13.5	7.8
Steg4xChât.	20.5	575.3	7.6	22.5	2.5	6.0	48.5	51.4	13.7	9.4

Tableau 2. Principales caractéristiques des sols de Steg et de Châteauneuf (0 - 20 cm)

Teneurs en fluor des sols des parcelles de 0 à 20 cm

Dans l'essai Steg-Châteauneuf, la moyenne des teneurs en [fluor_{tot.}] (n = 8) (tableau 2) des parcelles «terre de Châteauneuf» présente une valeur plus élevée que les moyennes obtenues pour les sols de Steg à l'exception de Steg 2. Ainsi, à part Steg 1, les valeurs de fluor total sont toutes plus élevées que la norme de 400 ppm prescrite par l'Ordonnance sur les polluants du sol (OSOL, 1986). A Châteauneuf et à Steg1, la teneur en [fluor_{sol.}] est plutôt faible; elle est déjà plus élevée à Steg3 et à Steg4. A Steg2, elle dépasse largement la norme de 25 ppm F prescrite par l'Osol.



Etude des teneurs des profils des sols des placettes d'essai (0 à 100 cm)

A Châteauneuf (figure 2), la teneur en $[\text{fluor}_{\text{tot.}}]$ demeure de 0 à 100 cm bien au-dessus des 400 ppm prescrits par l'Osol alors que la teneur en $[\text{fluor}_{\text{sol.}}]$ du sol n'atteint même pas 10 ppm.

A Steg, les teneurs en fluor total mesurées entre 0 et 40 cm varient de 280 à 800 ppm et de 300 à 500 ppm entre 60 et 100 cm. Malgré une fixation relativement élevée du fluor (figure 2) particulièrement visible à Steg 2, la teneur en $[\text{fluor}_{\text{sol.}}]$ des sols, principalement entre 10 et 40 cm, se situe à des niveaux élevés, voir très élevés.

Teneurs en fluor relevées dans les filtres «Harding»

Les flux fluorés (Steg + Châteauneuf) de 1992 sont significativement inférieurs de 14% à ceux de 1991. Les teneurs en fluor des filtres Harding de Steg sont, selon les emplacements et les périodes d'exposition, de 9 à 39 fois supérieures à celles de Châteauneuf en 1991 et de 10 à 38 fois en 1992 (tableau 3). La différence des moyennes des placettes entre 1991 à 1992 - moyennes de toutes les périodes d'exposition - indique une diminution significative ($P \geq 0,05$) de la teneur en fluor donnée par les filtres Harding: à Steg 1 de 30%, à Steg 2 de 15%, à Steg 3 de 1% (non-significative), à Steg 4 de 10% et à Châteauneuf de 14%. Les différences observées entre les placettes d'une même année sont significatives pour $P \geq 0,05$ (figure 3). Notons qu'à Steg, les retombées fluorées sont souvent plus importantes à 400 m qu'à 200 m de l'usine.

Fig.2. Teneurs en fluor total ($F_{\text{tot.}}$) et soluble ($F_{\text{sol.}}$) du profil du sol de Steg 2, et de Châteauneuf (1991)

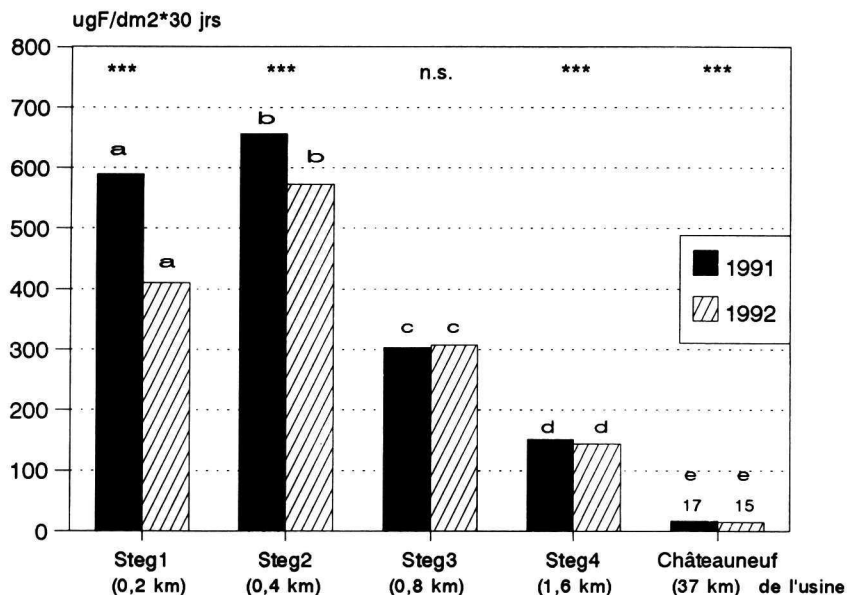


Fig. 3. Comparaison de la teneur en fluor des Harding selon la distance de l'usine. Les différences statistiques des teneurs entre les années 1991 et 1992 sont marquées par des astérisques; les lettres différencient les écarts annuels significatifs entre les placettes.

Lieux	F ray-grass			F - Harding		F _{sol.} du sol
	1991	1992		1991	1992	1991
		F min.	F org.			
Châteauneuf	1	1	1	1	1	1
Steg1	5.1	2.6	8.7	35	27	2.4
Steg2	5.1	2.6	9.4	39	38	11.2
Steg3	3.0	1.8	4.7	18	20	5.2
Steg4	1.9	2.4	3.2	9	10	7.1

Tableau 3. Facteurs d'accumulation du fluor du ray-grass, des filtres Harding, et du fluor soluble du sol entre Châteauneuf (=1) et les différentes placettes de Steg (1991 et 1992).

Les teneurs en fluor mesurées à l'aide des appareils «Harding» pour des périodes de 15 jours présentent à Steg de bonnes à très bonnes corrélations (significatives) avec la distance de l'usine. (Les coefficients de corrélation (n=12) varient pour 1991 et 1992 respectivement de $r = -0,71$ à $-0,98$ et de $r = -0,68$ à $-0,99$.)

Teneur en fluor du ray-grass italien

Teneur en fluor du ray-grass italien à Steg et Châteauneuf en 1991

A Steg, les teneurs en fluor du ray-grass (mesurées dans la matière sèche, m.s.) fluctuent selon la distance de l'usine de 25 à 178 ppm (Figure. 4). La comparaison par le test de Friedman des parcelles entre elles, à l'intérieur des placettes, n'a pas apporté de différence significative. En conséquence, il est possible de prendre chaque placette comme un ensemble, est ainsi de comparer les différents lieux. Ainsi la teneur en fluor du ray-grass de Steg 1 = Steg 2 > Steg 3 > Steg 4. Les coefficients de corrélation qui relient les teneurs en fluor du ray-grass avec la distance de l'usine s'améliorent au fil des coupes et deviennent significatifs ($P = 0,05$) à partir de la 2e coupe, passant de $r = -0,68$ à $r = -0,78$.

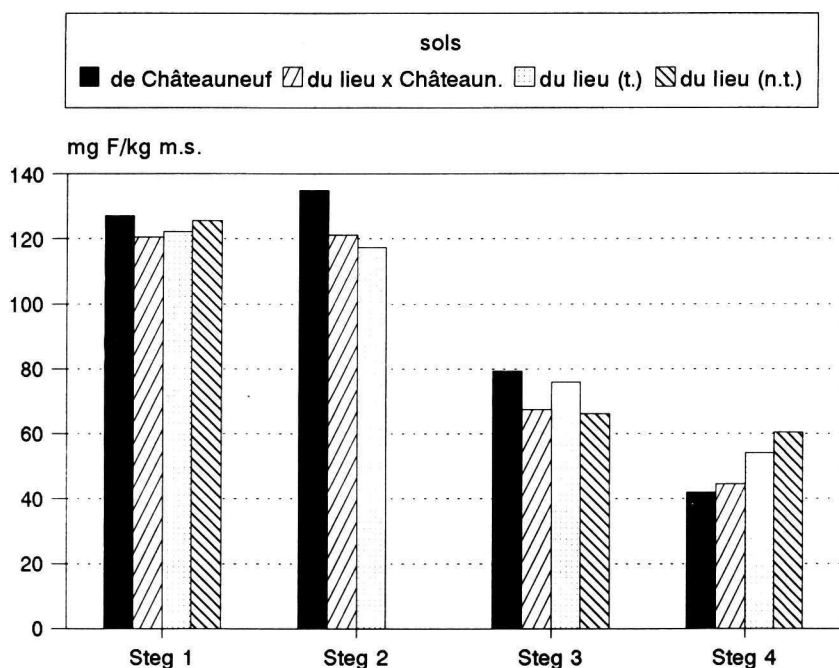


Fig.4. Teneurs en fluor du ray-grass dans la région de Steg en fonction des sols et des lieux, 1991.

A Châteauneuf, les teneurs moyennes en fluor du ray-grass (24 ppm pour 4 coupes) demeurent encore relativement élevées (max. :60 ppm; min.: 12 ppm). Les parcelles de sols importés de «Steg» et de sols mélangés de «Châteauneuf x Steg» sont, quant à leur teneur en fluor, statistiquement identiques aux parcelles de sol de «Châteauneuf».

Dans la figure 5, les différences qui apparaissent dans le fluor de la partie organique du ray-grass sont significatives seulement à Steg1 et Steg2. A Steg1, c'est le ray-grass croissant sur le «sol du lieu» qui présente la plus haute teneur moyenne en fluor (91 ppm), alors qu'à Steg2, c'est le ray-grass des sols «de Châteauneuf» (97 ppm) et le mélange des sols «Châteauneuf x Steg 2» (94 ppm). Le test de Friedman n'indique rien de significatif pour la partie minérale des échantillons. La teneur relativement élevée en fluor (non-significative) de Steg 4 est due à une valeur extrême (96 ppm) de la 4e coupe. La moyenne logarithmique de la teneur en fluor initial était de 82 ppm (max.: 178 ppm; min.: 25 ppm) en 1991 et de 77 ppm en 1992 (max.: 192 ppm; min.: 29 ppm). La diminution par rapport à 1991 est de 6%.

A Châteauneuf, aucune différence significative n'apparaît pour le fluor organique et pour le fluor de la partie minérale entre les différents sols des divers lieux. La moyenne logarithmique de la teneur en fluor initial était de 18 ppm F (max.: 89 ppm F; min.: 7 ppm F). La différence par rapport à 1991 est de -21%.

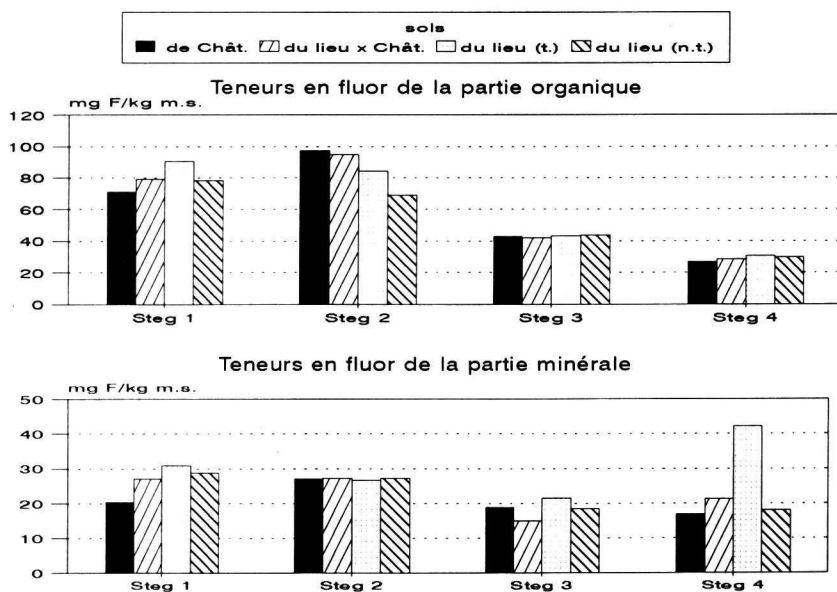


Fig.5. Teneurs moyennes en fluor du ray-grass italien en fonction des sols et des lieux à Steg, 1992.

Facteurs d'accumulation des teneurs en fluor entre Châteauneuf et Steg

Le facteur d'accumulation calculé en divisant la moyenne géométrique des teneurs en fluor de Steg par la moyenne géométrique de celles de Châteauneuf permet de mieux appréhender l'importance de la pollution fluorée de la région de Steg. De même, les rapports entre Châteauneuf et Steg de la partie organique du ray-grass italien de 1992 s'identifient mieux à ceux des Harding que ceux de l'année 1991, faisant bien ressortir la plus forte retombée de fluor atmosphérique sur Steg 2 (tableau 3). Les rapports de la pollution fluore atmosphérique (Harding de 15 jours) sont assez analogues pour les années 91 et 92. La répartition du fluor entre les lieux est comparable pour les Harding et le ray-grass. Les Harding et le ray-grass expriment une situation ponctuelle d'une année alors que les sols manifestent l'accumulation fluorée depuis le début des émissions.

Les rendements

Les teneurs en fluor des sols n'ont pas affecté les rendements du ray-grass, ni à Steg ni à Châteauneuf (résultats non-présentés).

DISCUSSION

A l'exception du sol de Steg1, les teneurs en fluor total des sols entre 0 et 20 cm de profondeurs y compris celles du sol de Châteauneuf sont plus élevées qu'à la norme (400 ppm [$F_{\text{tot.}}$]) prescrite par l'OSOL (1986). Par contre, la norme de la teneur en fluor soluble de 25 ppm n'est dépassée qu'à Steg 2.

L'Etude des profils des sols laisse supposer une contribution due aux activités humaines en fluor total aussi bien à Steg qu'à Châteauneuf, car les teneurs en fluor total du sous-sol sont généralement inférieures à celles des couches supérieures. Cependant, des teneurs en fluor du sous-sol supérieures à la valeur indicative de l'Osol de 400 ppm ont été trouvées dans de nombreux sols en Suisse, principalement dans les sols à pH élevé, carbonatés ou riches en micas (NABO, 1993). La teneur en fluor soluble, qui pourrait influencer la teneur en fluor des plantes, est restée faible à Châteauneuf, élevée à très élevée à Steg particulièrement entre 20 et 40 cm de profondeur. Le sol étant alcalin, le fluor soluble tendra à se combiner au calcaire du sol qui fixe le fluor sous forme de fluorite de calcium (CaF_2). A l'inverse, une acidification du sol amènerait une plus grande solubilité et disponibilité du fluor soluble.

En 1992, la teneur en fluor atmosphérique mesuré dans les filtres Harding a marqué une diminution significative de 14% à Châteauneuf par rapport à 1991. Cette diminution varie selon la distance de la source fluorée de 1,2% à 30% à Steg. Pour Châteauneuf, cette diminution est à mettre en relation avec la fermeture des usines de Martigny et de Chippis. De plus, la production d'aluminium de l'usine de Steg a baissé de 6,6% (1992: production de 46'068 t d'aluminium). La faiblesse de certaines corrélations entre les Harding et la distance de l'usine s'explique par les retombées fluorées plus importantes à 400 m qu'à 200 m de l'usine, comme l'avait aussi constaté GUYER (1989) et ceci indépendamment du substrat.

La pollution fluorée de Châteauneuf ne semble pas avoir de lien direct avec celle de Steg. Elle exprime, d'une certaine façon, la pollution fluorée de fond, provenant probablement de différentes sources (usines d'aluminium, d'incinération, etc.).

En 1991, les teneurs en fluor du ray-grass des différents sites sont significativement différentes à l'exception de celles Steg1 et de Steg2 qui sont égales. Par contre, à l'intérieur des placettes, entre les parcelles, aucune différence significative n'apparaît. De même, à Châteauneuf, les teneurs en fluor des parcelles sont toutes identiques.

En 1992, à cause de la séparation analytique du fluor organique et du fluor minéral, l'analyse statistique s'est affinée et une différence significative est apparue à Steg1 entre la parcelle du lieu travaillé et les autres parcelles. Par contre, la parcelle du lieu travaillée superficiellement est identique au témoin. Mais à Steg 2, à l'inverse, c'est le sol où l'on trouve la plus faible teneur en fluor soluble, la parcelle témoin, qui présente la plus haute teneur dans le ray-grass. Les parcelles des autres placettes ont des niveaux de fluor identiques. Ces résultats laissent apparaître un effet du fluor qui proviendrait spécialement de l'air. La teneur moyenne en fluor de la partie minérale est statistiquement identique dans les quatre lieux considérés. A Steg, la partie minérale varie selon les coupes, entre 20% et 33% du fluor initial. A Châteauneuf, où la partie minérale représente le 59% du fluor initial, l'analyse statistique ne fait ressortir aucune valeur significative, ni dans la partie organique ni dans la minérale.

La baisse significative des teneurs en fluor initial du ray-grass de 1991 à 1992, doit être associée, comme pour les résultats obtenus dans les appareils «Harding», à la diminution de la teneur en fluor atmosphérique, soulignant ainsi d'autant plus l'importance de la pollution fluorée de provenance atmosphérique.

Les teneurs en fluor des parties minérales du ray-grass ne semblent pas être directement en relation avec les sols des différents lieux, mais

jouent un rôle important quant à la teneur initiale en fluor du ray-grass. Elles y participent à raison de 63%.

CONCLUSIONS

Dans les conditions actuelles d'émission, l'influence du fluor éda- phique n'est pas perceptible sur les teneurs en fluor du ray-grass italien; par conséquent, le fluor soluble du sol ne joue pas un rôle prépondé- rant.

En 1991, les 59 à 90 % de la variation de la teneur en fluor du ray- grass s'expliquent par la variation du flux fluoré atmosphérique mesuré dans les filtres Harding (77% à 90% en 1992). Le fait d'avoir, à l'ana- lyse, séparé le fluor organique du fluor minéral a permis d'améliorer les corrélations. Les pourcentages non expliqués par les corrélations pro- viennent de nombreux autres facteurs, tels que le microclimat, le sol, le régime hydrique, l'époque de coupe, etc.. La zone «très fortement contaminée» (100 ppm F selon LINDT *et al.*, 1989) déterminée par extrapolation (régression sur toutes les coupes) s'étendrait jusqu'à environ 380 m à l'est de l'usine en 1991 et jusqu'à 230 m de l'usine en 1992: ce fourrage n'est alors consommable qu'après mélange (dilution) avec un autre fourrage non-contaminé. En 1991, la zone «très contami- née» (de 35 à 100 ppm F) s'étendait encore jusqu'au site contrôlé (1600 m) de même qu'à certaines coupes de 1992. Ce fourrage n'est alors consommable qu'avec certaines précautions. A cette même distance, l'immission fluorée mesurée sur le ray-grass a atteint pour la durée de la période de végétation une moyenne de 47 ppm en 1991 et de 31 ppm en 1992 (teneur normale: de 2 à 10 ppm F, selon POURCHET et SCHAEER (1992).

Remerciements

Nos remerciements s'adressent aux agriculteurs de Steg qui ont mis des parcelles à notre disposition, à M. J-P. Schnydrig et aux personnels de laboratoire du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, à M. A. Schmid de la Station cantonale d'agriculture du canton du Valais, à l'équipe en champ de la FAC, au personnel des différents laboratoires, particulièrement R. Perler pour les analyses de fluor, et à toutes les personnes qui ont oeuvré au bon aboutissement de ce travail. Ils vont aussi à MM T. Grub, J. Fuhrer et E. Bovay qui ont bien voulu lire et corriger ce texte.

RÉSUMÉ

Le fluor édaphique n'a pas d'influence notable sur la teneur en fluor d'une graminée fourragère (*Lolium perenne*). Résultat d'un essai effectué en Valais.

L'importance du fluor édaphique soluble a été testée, en 1991 et 1992, sur du ray-grass italien dans deux sites distants d'environ 40 km: Steg et Châteauneuf. Les sols des 4 placettes de Steg situées à 200, 400, 800 et 1600 m à l'est de l'usine d'aluminium ont été transportés et échangés avec le sol de Châteauneuf (témoin). Les quatre placettes de Steg comprenaient chacune le sol de Châteauneuf, le sol de Châteauneuf mélangé au sol du lieu et deux parcelles du sol du lieu. Ces dernières présentaient deux méthodes de préparation: l'une retournée et travaillée, l'autre grattée superficiellement. A Châteauneuf, se retrouvaient les sols des quatre placettes de Steg, le sol de Châteauneuf mélangé aux sols de Steg et le sol de Châteauneuf. Le fluor atmosphérique a été mesuré au moyen d'appareils Harding. Les résultats ont montré que l'immission moyenne mesurée à Steg sur le ray-grass est encore trop élevée (1991: 82 mg F/kg matière sèche = ppm F; 1992: 77 ppm F). En 1991, elle était 3,6 fois supérieure à celle de Châteauneuf et 4,3 fois en 1992. De 1991 à 1992, l'immission mesurée sur le ray-grass a diminué significativement de 6% à Steg et de 21% à Châteauneuf. La fermeture des usines de Martigny et de Chippis et la réduction de la production de l'usine de Steg peuvent expliquer cette diminution.

L'influence du fluor de provenance anthropique se remarque dans le profil des sols des sites de Châteauneuf et plus particulièrement dans ceux de Steg. Dans les conditions de nos essais, la teneur en fluor du ray-grass n'a pas été influencée par l'origine des sols, donc par leur teneur en fluor. Par conséquent, l'immission fluorée mesurée sur le ray-grass d'Italie provient essentiellement de l'atmosphère.

Bibliographie

- BOVAY E., A. BOLAY, R. ZUBER, P. DESBAUMES, G. COLLET, J.-P. QUINCHE, G. NEURY ET B. JACOT, 1969. Accumulation de fluor dans les végétaux sous l'influence de certains engrais combinés boriqués. *Recherche agronom. en Suisse* 8, 49-64.
- BOVAY E., 1973. Influence des composés fluorés et des combinaisons de plomb sur les plantes et les animaux. *Clin. Toxicol.* 5-6, 377-391.
- BURGSTALLER A.W., 1987. Continuing controversy over dietary fluoride tolerance for dairy cattle. *Fluoride* 20, 102-103.
- CONTAT F., W. TSCHANNEN ET R. PERLER, 1993. Y a-t-il encore du fluor en Valais? Situation actuelle. *Recherche agronom. en Suisse* 32, 93-101.
- CONTAT F. ET R. ZUBER, 1977. Contrôle des immissions fluorées dans le Haut-Valais à l'aide d'une graminée fourragère. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 9, 65-68.
- ZUBER R., W. TSCHANNEN ET E. BOVAY, 1981. Contrôle de la teneur en fluor des feuilles d'abricotiers de la vallée du Rhône de 1974 à 1980. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 13, 131-138.
- DAGNÉLIE P., 1975. *Théorie et méthodes statistiques* vol.2, Les Presses Agronomiques de Gembloux, 463 p.
- DESBAUMES P. ET E. BOVAY, 1971. Détermination des immissions fluorées au moyen d'appareils d'absorption statique, type Harding modifié. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 3, 75-77.
- FAC, 1993. Fluor région de Steg 1991-1992. *Importance du fluor édaphique sur la teneur en fluor d'une graminée fourragère*. Rapport final. Station fédérale de

- recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement Liebefeld-Berne, 23 p
- GUYER CH., 1989. *Die Fluorbelastung in der Region Steg (VS) und ihre Auswirkung auf die Qualität von Futterpflanzen*. Lizentiatsarbeit, Universität Bern.
- LINDT T., J. FUHRER, UND F.X. STADELMANN 1990. Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen. *Schriftreihe der FAC Liebefeld No 8*.
- NABO, 1993. Réseau national d'observation des sols. *Cahier de l'Environnement No 200 Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne*.
- OSOL., 1986. *Ordonnance sur les polluants du sol*.
- OPAIR, 1985. *Ordonnance sur la protection de l'air*.
- POURCHET R. ET F. SCHAEER , 1992. *Le fluor: impact sur l'environnement et aspects thérapeutiques* Thèse de pharmacie Besançon, 430 p.
- WALTHER U., J.-P. RYSER, R. FLISCH UND A. SIEGENTHALER 1987. *Düngungsrichtlinien für den Acker-und Futterbau. FAP, RAC und FAC (Landwirtschaftliche Beratungszentrale 8307 Lindau)*.

